

УДК 66.084.2

**А. Э. Филатенков\***

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

\**3po91@mail.ru*,

Научный руководитель – доц., канд. тех. наук *В. П. Рева*

## МЕХАНОАКТИВАЦИЯ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

В докладе представлено исследование стадий формирования многослойных углеродных нанотрубок в процессе механоактивации аморфного углерода, полученного пиролизом из растительного сырья. Показано, что длительная механоактивация углеродной композиции в вариопланетарной мельнице (более 36 ч) приводит к образованию агрегатов и потере термической устойчивости нанотрубок.

*Ключевые слова:* аморфный углерод, механоактивация, углеродные нанотрубки, вакуумный отжиг, термическая устойчивость.

**A. E. Filatenkov**

## MECHANOACTIONATION PYROLYSIS PRODUCTS OBTAINED FROM VEGETABLE RAW MATERIALS, IN ORDER TO OBTAIN CARBON NANOTUBES

The report presents a study of stages of formation of multi-walled carbon nanotubes in the process of mechanical activation of amorphous carbon produced by pyrolysis of the raw material. It has been shown that long-term mechanical activation of the carbon composition in the vario-planetary mill (over 36 h) leads to the formation of aggregates and loss of thermal stability of the nanotubes.

*Keywords:* amorphous carbon, mechanical activation, carbon nanotubes, vacuum annealing, thermal stability.

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают рядом уникальных свойств, поэтому создаваемые на их основе материалы находят применение в качестве структурных модификаторов конструкционных материалов, электрических и оптических проводников, элементов радиоэлектроники, добавок в смазочные материалы, термопасты, лаки и краски, эффективных адсорбентов, газораспределительных слоев топливных элементов и многого другого. Перспективно использование углеродных нанотрубок в тонком химическом синтезе, наноэлектронике и медицине [1].

В качестве исходного материала использовали мхи сфагнум бурый и сфагнум магелланикум, побеги кукурузы сорта «Катерина СВ», бамбук колючий, хлопчатник сорта «Приозерный-4», а также стебли бамии сорта «Зеленый бархат». Углеродные нанотрубки были сформированы с применением пиролитической и механохимической технологии [2].

Получение модификации углерода с аморфной структурой выполнялось при температуре 950 °С. Далее углеродная модификация подвергалась обработке в вариопланетарной мельнице *Pulverisette-4* фирмы *Fritsch* (Германия).

Для выяснения стадийности формирования МУНТ были проведены исследования по механоактивации углеродных модификаций, полученных из растительного сырья. Время механообработки составляло 1–46 ч.

Представлено (рис. 1) изменение структуры аморфного углерода, полученного пиролизом из сфагнома бурого, в процессе его механической обработки в планетарной мельнице. Как видно на рис. 1, а, в течение 1–6 ч механоактивации образование МУНТ методами электронной микроскопии не фиксируется, аморфный углерод сохраняет свою пластинчатую форму. После 8 ч обработки (рис. 1, б) наблюдается процесс формирования нановолокнистой структуры, который реализуется в массиве углеродной частицы (рис. 1, в), при этом образуются углеродные нанотрубки диаметром 10–20 нм. После 10 ч механоактивации весь объем обрабатываемого материала состоит из углеродных нанотрубок диаметром 10–70 нм (рис. 1, г). Содержание нанотрубок составляет 43,71 % [3].

Дальнейшее увеличение продолжительности механообработки, вплоть до 36 ч, приводит к повышению дефектности углеродных нанотрубок с частичным образованием структур типа «бамбук» и «вложенные наноконусы», содержание нанотрубок составляет 79,48 %. При этом МУНТ, сформированные посредством механоактивации аморфного углерода, имеют довольно высокую удельную поверхность ( $S_{уд} = 400–510 \text{ м}^2/\text{г}$ ) и низкую зольность (порядка 1,5 мас. %).

Увеличение времени механической активации до 46 ч приводит к образованию войлокоподобных агрегатов размером 20–100 мкм, состоящих из углеродных нанотрубок и аморфного углерода (рис. 2).

Если данный углеродный нанокompозит в целях удаления аморфного углерода подвергнуть вакуумному отжигу, то наблюдается многократное снижение содержания нанотрубок в продуктах отжига до 11,49 % [4].

Установлено, что длительная механическая активация аморфного углерода, полученного пиролизом растительного сырья, приводит к образованию нанокompозитных агрегатов «УНТ + аморфный углерод», что в дальнейшем, при проведении вакуумного отжига, способствует потере термической устойчивости углеродных нанотрубок, входящих в состав агрегата.

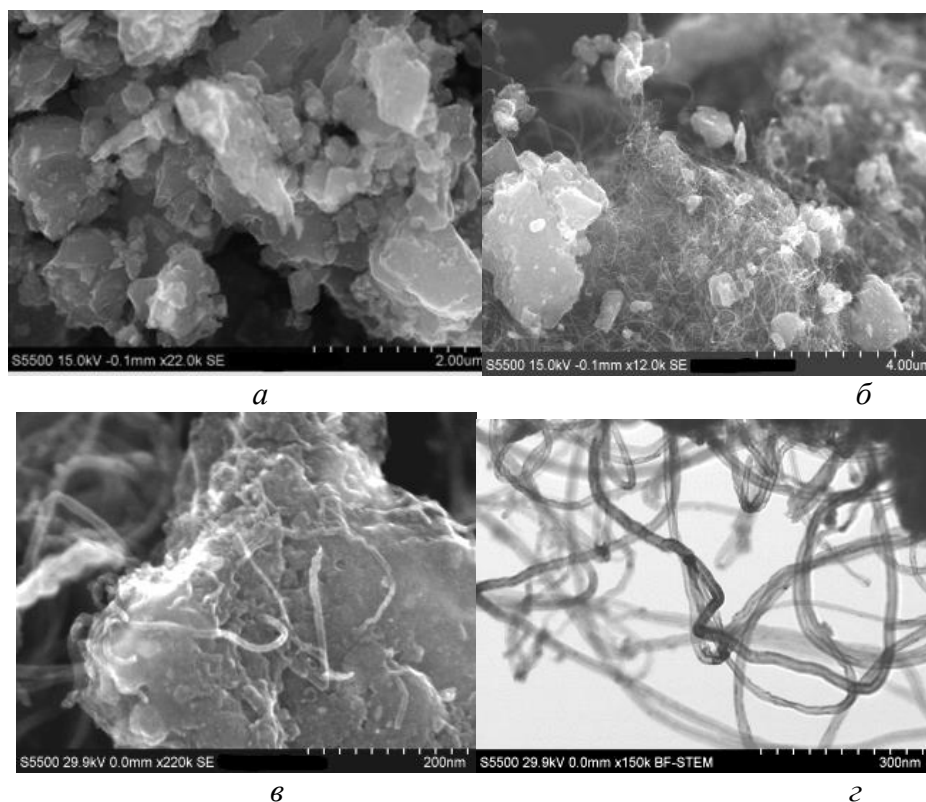


Рис. 1. Модификация углерода из сфагнома буроого после механоактивации в течение, ч:  
*a* – 6; *б*, *в* – 8; *г* – 10; *a* –  $\times 22\,000$ ; *б* –  $\times 12\,000$ ; *в* –  $\times 220\,000$ ; *г* –  $\times 150\,000$

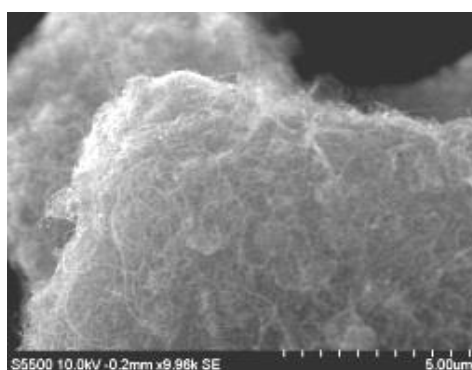


Рис. 2. Структура углеродных нанотрубок после механоактивации в течение 46 ч  
( $\times 10000$ )

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дьячков П. Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применение. М. : БИНОМ, 2006. С. 293.
2. Пат. 2509053 РФ, МПК С 01 В 31/02; В 82 В3/00. Способ получения углеродного материала / Д. В. Онищенко, В. П. Рева, В. В. Чаков ; опубл. 10.03.2014, Бюл. № 7.
3. Кинетика формирования многостенных нанотрубок из мха / Д. В. Онищенко [и др.] // Химия твердого топлива. 2013. № 4. С. 46–51.
4. Термическая устойчивость многослойных углеродных нанотрубок, формируемых при механоактивации аморфного углерода / В. П. Рева [и др.] // Кокс и химия. 2014. № 11. С. 34–38.